Teori Kuantum

A. PENDAHULUAN

- **Teori kuantum** adalah teori fisika modern yang menjelaskan segala sesuatu yang tidak dapat dijelaskan oleh teori fisika klasik.
- **Pengantar teori kuantum** antara lain radiasi benda hitam dan dualisme gelombang-partikel.

B. RADIASI BENDA HITAM

- **Setiap benda** akan memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik (cahaya tampak) dalam bentuk radiasi kalor.
- **Benda hitam** adalah benda yang menyerap sekaligus memancarkan radiasi kalor secara sempurna.
- **Radiasi** dipancarkan oleh seluruh benda yang memiliki suhu, dan dipengaruhi oleh warna permukaan.
- **Warna permukaan** mempengaruhi nilai emisivitas benda (e):
  1) Nilai emisivitas benda berkisar $0 \leq e \leq 1$.
  2) Warna hitam memiliki nilai e = 1,
  3) Warna putih memiliki nilai e = 0.
- **Intensitas radiasi (I)** adalah daya radiasi yang dipancarkan benda tiap satuan luas permukaan benda, dapat dirumuskan:

$$I = \frac{P}{A} \qquad I = e.\sigma.T^4$$

I = intensitas radiasi (Watt/m²)
P = daya radiasi (Watt)
A = luas permukaan benda (m²)
e = koefisien emisivitas benda ($0 \leq e \leq 1$)
σ = tetapan Stefan-Boltzmann ($5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴)
T = suhu mutlak benda (K)

- **Daya radiasi (P)** adalah energi radiasi yang dipancarkan benda tiap satuan waktu, dapat dirumuskan:

$$P = e.\sigma.T^4.A$$ A = luas permukaan (m²)

- **Energi radiasi (W)** adalah energi kalor berupa gelombang elektromagnetik spektrum cahaya tampak yang dipancarkan benda, dapat dirumuskan:

$$W = e.\sigma.T^4.A.t$$ t = waktu (s)

- **Hukum pergeseran Wien** (*Wien Displacement Law*) menjelaskan tentang hubungan intensitas dengan frekuensi atau panjang gelombang.

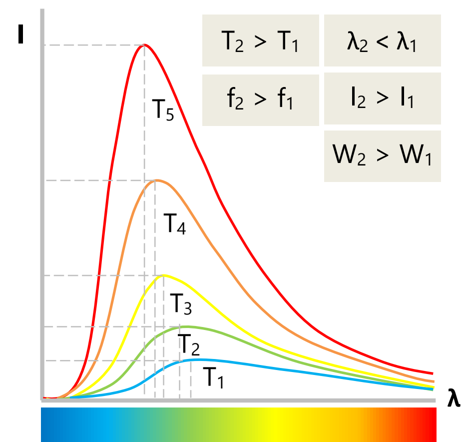
Jika suhu makin tinggi, maka pada intensitas radiasi maksimum, panjang gelombang (λ_m) atau frekuensi gelombang (f_m) akan bergeser.

dapat dirumuskan:

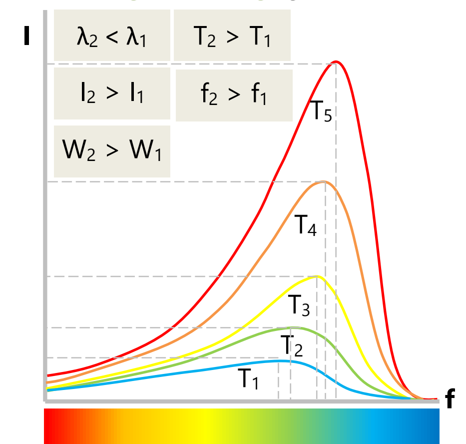
$$\lambda_m.T = C$$

λm = panjang gelombang pada intensitas radiasi maksimum (m)
T = suhu mutlak benda (K)
C = tetapan Wien ($2{,}898 \times 10^{-3}$ m.T)

- **Grafik pergeseran Wien:**
  1) **Panjang gelombang** (geser ke kiri)



  2) **Frekuensi gelombang** (geser ke kanan)



C. DUALISME GELOMBANG-PARTIKEL

- **Dualisme gelombang-partikel** adalah teori yang menjelaskan bahwa cahaya/gelombang dapat bersifat sebagai partikel, dan partikel dapat bersifat sebagai cahaya/gelombang.
- **Dua pemikiran** tentang gelombang-partikel:
  1) **Cahaya bersifat partikel**
     Dikemukakan oleh teori Max-Planck, efek fotolistrik dan efek Compton.
  2) **Partikel bersifat cahaya**
     Dikemukakan oleh hipotesis de Broglie.



- **Teori Max-Planck** menjelaskan bahwa:

> Cahaya merupakan pancaran paket energi/kuantum energi yang terkuantisasi/ diskret yang disebut **foton.**

- **Foton** adalah bentuk cahaya sebagai partikel yang merambat lurus berkecepatan:

$$c = \lambda.f = 3,0 \times 10^8 m/s$$

- **Energi foton** dipengaruhi oleh frekuensi gelombang, dapat dirumuskan:

$$E = h.f \qquad E = h.\frac{c}{\lambda}$$

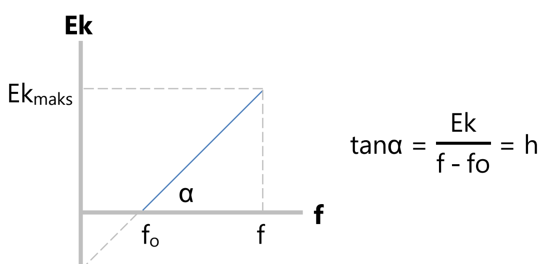
E = energi foton (J)
h = tetapan Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js)
f = frekuensi gelombang (Hz)
c = cepat rambat gelombang ($3,0 \times 10^8$ m/s)
λ = panjang gelombang (m)

- **Efek fotolistrik** dikemukakan oleh Albert Einstein dan merupakan peristiwa tereksitasinya elektron dari logam akibat pancaran **energi foton**.
- **Energi ambang** adalah energi foton minimum yang dibutuhkan untuk melepas satu partikel elektron tereksitasi dari logam, dapat dirumuskan:

$$E_o = h.f_o$$

Eo = energi ambang (J)
h = tetapan Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js)
fo = frekuensi ambang (Hz)

- **Pada efek fotolistrik:**
  1) **Jika E < Eo**, maka tidak terjadi efek fotolistrik.
  2) **Jika E = Eo**, terjadi efek fotolistrik sesaat, tidak ada energi kinetik yang terbentuk.
  3) **Jika E > Eo**, terjadi efek fotolistrik, ada energi kinetik yang terbentuk.
- **Energi kinetik** adalah energi yang dimiliki elektron akibat bergerak.
- **Energi kinetik** elektron dapat dirumuskan:



$$\tan\alpha = \frac{E_k}{f - f_o} = h$$

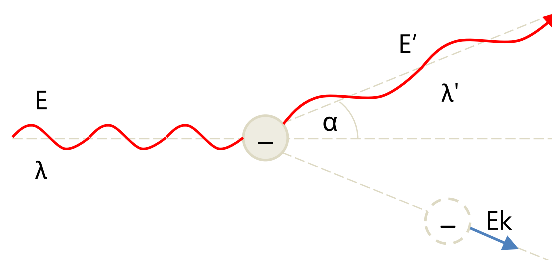
$$E_k = E - E_o \qquad E_k = h(f - f_o)$$

- **Potensial henti** adalah nilai potensial listrik yang digunakan untuk membuat elektron yang sedang bergerak menjadi berhenti.

$$V = \frac{E_k}{e}$$

V = potensial henti (Volt)
Ek = energi kinetik elektron (J)
e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

- **Efek Compton** merupakan kebalikan efek fotolistrik, yaitu peristiwa penghamburan foton akibat menumbuk elektron.



- **Momentum foton** adalah nilai momentum yang terjadi ketika foton menumbuk elektron, dapat dirumuskan:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

- **Pergeseran Compton** adalah perubahan panjang gelombang yang terjadi akibat tumbukan foton dengan elektron, dapat dirumuskan:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$$

Δλ = pergeseran Compton (m)

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_o c}.(1 - \cos\alpha)$$

mo = massa elektron diam ($9,1 \times 10^{-31}$ kg)
α = sudut belok terhadap arah awal

- **Pada efek Compton:**
  1) Energi foton bertambah (E' > E).
  2) Panjang gelombang foton bertambah (λ' > λ).
  3) Frekuensi foton berkurang (f' < f).
- **Hipotesis de Broglie** menjelaskan bahwa:

> Partikel yang bergerak dapat memiliki sifat-sifat gelombang/cahaya dan panjang gelombang.

- **Panjang gelombang** partikel dapat dirumuskan:

Partikel umum

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad \lambda = \frac{h}{m.v}$$

p = momentum partikel (Ns)
m = massa benda (kg)
v = kecepatan partikel (m/s)

Elektron

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_o eV}}$$

mo = massa elektron diam ($9,1 \times 10^{-31}$ kg)
e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)
V = beda potensial (V)

